

VIVIENDAS BIOCLIMATICAS EN TAPALQUE. SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN POR MUROS ACUMULADORES DE CALOR (MAC): RESULTADOS PRELIMINARES.

C. Discoli¹, G. Viegas², G. San Juan¹

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC). Grupo asociado INENCO.
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional de La Plata (UNLP)
Calle 47 N°162, La Plata, C.P. 1900 – Prov. de Buenos Aires
Tel. 0221-4236587/90 int. 250-31. e-mail: gustavosanjuan60@hotmail.com

RESUMEN: Se presenta el desarrollo de sistemas de climatización para invierno conformados por muros acumuladores de calor (MAC) y el análisis comparado de diferentes tecnologías. Los sistemas se diseñaron para climatizar prototipos de viviendas bioclimáticas emplazados en Tapalqué, provincia de Buenos Aires (36° 21' Lat. Sur, 60° 61' Long. Oeste). Están incluidos en la fachada norte del prototipo y conformados por una masa de acumulación compuesta por piezas apilables industrializadas construidas con dos tecnologías de hormigón, macizas y mixtas que incorporan vainas de PVC llenas con agua tratada. Están cubiertas con una vidriera de simple vidrio con protección nocturna. Se presentan los diseños tecnológicos, las etapas de industrialización, fabricación y montaje. Se realizaron simulaciones de los sistemas incorporados a la vivienda y mediciones en laboratorio. Las simulaciones registraron una mayor performance en locales con muros acumuladores mixtos. Las mediciones en banco de ensayo corroboraron una diferencia de 2°C en las temperaturas registradas en el interior de los locales.

Palabras clave: Energía solar, Tecnología, Transferencia, Muros acumuladores de calor.

INTRODUCCIÓN

El trabajo muestra el proceso de diseño y los resultados obtenidos en los sistemas solares de climatización de invierno desarrollados, destinados a las viviendas bioclimáticas emplazadas en el municipio de Tapalqué. Las viviendas forman parte del proyecto ejecutivo realizado por el Grupo 1 del Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC), FAU-UNLP, asociado al INENCO-CONICET; en el marco del proyecto de desarrollo de viviendas sociales llevado a cabo por Instituto de la Vivienda de la prov. de Buenos Aires (IVBA), del Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Para cumplir con los programas solicitados (cuatro prototipos bioclimáticos), se analizaron las características del lugar a partir de su localización; se delinearon las pautas bioclimáticas viables; y se establecieron las características generales y particulares de diseño.

El municipio de Tapalqué, está localizado en el centro de la prov. de Buenos Aires sobre la Ruta N° 51, región caracterizada como templada, en el límite de la Zona Bioclimática IIb (Según Norma IRAM N°11603), Latitud: 36° 21' Sur Longitud: 60° 61' Oeste. En la Tabla 1, se observan las condiciones climáticas de referencia.

Las tecnologías básicas orientadas a la climatización fueron: **Aislación de la envolvente** (Muros + Piso + Techo); **Captación de la radiación solar directa por ventanas;** y **Calefacción** por Muro Acumulador de Calor (MAC), tipo “Trombe-Michel” (se diseñaron y ensayaron dos variantes de muro pesado, de hormigón y con materializaciones mixtas en hormigón y agua). Su implementación permitió evaluar: i. el ahorro anual de energía para calefacción calculado en un 56%; ii. las condiciones de confort (invierno/verano), con relación a una vivienda tradicional de producción estatal; y iii. mejorar las condiciones de habitabilidad, minimizar las pérdidas térmicas por envolvente; reducir las infiltraciones de aire y evitar la condensación superficial e intersticial. En todos los prototipos se respetaron los presupuestos estipulados oportunamente por las fuentes de financiación oficiales (montos estipulados de 2508\$/m²). Los trabajos de proyecto se iniciaron en el 2009 y se concluyó con el diseño de los 4 prototipos (uno de un dormitorio, dos de dos y uno de tres dormitorios). Se realizaron las evaluaciones teóricas y simulaciones termodinámicas utilizando software nacional e internacionales, validados por la comunidad científica (SIMEDIF, Inenco-UNSa-Salta² y Desing- Builder con soporte de cálculo Energy Plus). Se realizó el legajo técnico final para la ejecución y los trabajos de obra se encuentran en la etapa de mampostería y montaje de muros climatizadores. Los antecedentes se publicaron en (San Juan et al 2010). La figura 1 muestra la localización de la ciudad de Tapalqué y las figuras 2, 3 y 4 muestran la planta, vista y corte de la vivienda de tres dormitorios

¹ Investigador CONICET; ² Becario Post-Doc. CONICET.

² Las simulaciones dinámicas en SIMEDIF se resolvieron simultáneamente con el asesoramiento y la colaboración de la Dra. Silvana Flores Larsen y el Dr. Alejandro Hernández, del INENCO-UNSa.

Se agradece la colaboración del Ing. Bernardo Zaslascky de la Arq. Florencia Zaslascky de la empresa de premoldeados de hormigón BLOKY.

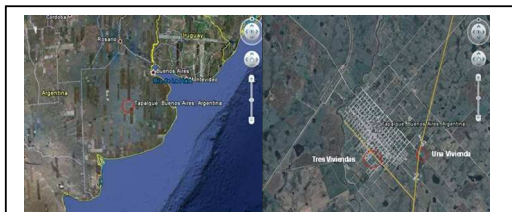


Figura 1: Localización de la ciudad de Tapalqué y localización de los terrenos.

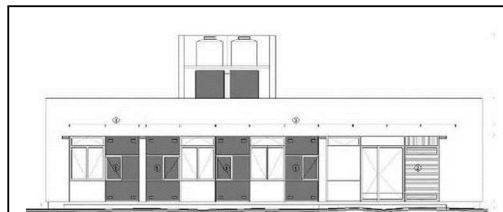


Figura 2: Fachada Norte. Tipología 3 dormitorios .

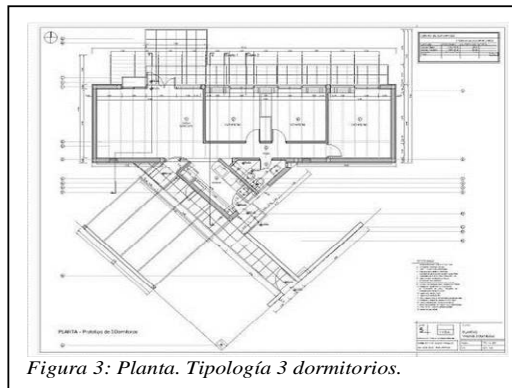


Figura 3: Planta. Tipología 3 dormitorios.

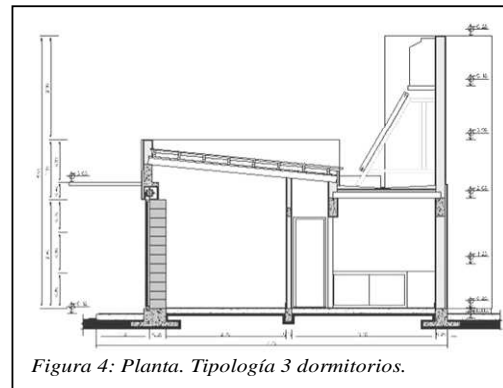


Figura 4: Planta. Tipología 3 dormitorios.

A partir de las metas propuestas, en este trabajo se desarrollará particularmente el sistema de climatización de invierno (muros acumuladores de calor), analizando el comportamiento teórico de sus diferentes versiones en las viviendas, diseño industrialización y resultados obtenidos.

MUROS ACUMULADORES DE CALOR (MAC)

Los muros acumuladores de calor (MAC) cuentan con significativos antecedentes en los que se han planteado una gran diversidad de tecnologías y prestaciones, en las que se ha tenido en cuenta las capacidades de acumulación de calor, el tipo y nivel de transferencia según los materiales utilizados, así como la capacidad de retardo y de amortiguamiento de la onda térmica. Los tipos de muros experimentados en nuestro contexto han partido de los preceptos enunciados por Edward Morse, US Patent 246626 de 1881 relacionados con la acumulación de calor en materiales sólidos, y posteriormente en la década del '60 por las aplicaciones del Ing. Felix Trombe y el Arq. Jacques Michel en la localidad francesa Font-Romeu-Odeillo-Via. Estos y sus variantes posteriores se pueden agrupar en muros desfases de la onda térmica, muros de descarga continua sin desfase, con acumulación en sólido, y con acumulación en fluido o mezclas entre otros (E Alanis 1978), (J. L. Guerrero et al 1979), (J. J. Elicabe Urriol, R. Gaspar 1980), (E. Alanis, L. Saravia 1979), (J. L. Guerrero et al 1984), (E Alanis 1978). Dicha diversidad depende básicamente del tipo de aplicación y fundamentalmente de la disponibilidad del recurso solar, de la amplitud térmica y de las variaciones de heliofanía.

Nuestra región, caracterizada como zona bioambiental IIIb en la Norma IRAM 11603, cuenta con antecedentes significativos que llevaron a diseñar e implementar muros acumuladores de calor en agua con descarga controlada –MAC (o Trombe)- (L. Guerrero et al 1979). Esta tecnología fue implementada en la década del '80 en el proyecto CESAD, “Conjunto de viviendas de alta densidad con utilización de energía solar” del cual se construyó un prototipo, hoy fuera de funcionamiento (IAS-FIPE-IIPAC 2009). Los condicionantes de invierno con los que fue diseñada dicha tecnología (la ciudad de La Plata) han sido: 994 grados días de diseño de invierno base 18 GD₁₈; niveles de radiaciones medios (promedios entre 10,5MJ/m²día) y 5,4MJ/m²día); heliofanía cambiante (tres tipos de heliofanía en un mismo mes: Hr>75%; Entre 75% y 25%, y < al 25%) con alternancias poco previsibles. Esta disponibilidad de recursos y situaciones climáticas cambiantes es la que llevó a plantear oportunamente la necesidad de contar con un sistema de climatización con alta capacidad de carga (acumulación en agua), con alta capacidad de transferencia entre la masa de acumulación y el aire circulante (una acumulación de 1956 L en envases de agua de 5 L c/u dispuestos en tresbolillo); compacto y control de descarga en función de la demanda (muros desfases controlando la entrega de aire caliente). Esta tecnología demostró una significativa capacidad de carga, de transferencia y de descarga alcanzando niveles térmicos de 63°C con períodos de acumulación cercanos a los 3 días. Entre las dificultades se pueden mencionar la necesidad de un recinto estanco, con registros muy finos de descarga de aire caliente y una alta eficiencia en aislaciones de su envolvente dado que existe una importante dinámica de transferencia entre el aire y las celdas de agua (J. L. Guerrero 1984), (C. A. Discoli 1985), (C. A. Discoli 1986).

En el caso de las viviendas de Tapalqué y a partir de las experiencias realizadas en la región, así como de las ventajas y desventajas observadas en los MAC descriptos; se plantearon opciones tecnológicas que adaptaron criterios mixtos (hormigón+agua) en cuanto a niveles de carga térmica, acumulación y desfase de la onda térmica. Estas adaptaciones se debieron a que si bien se cuenta con niveles de radiación similares, se advierten algunos cambios climáticos tales como una mayor amplitud térmica, mayor demanda de calefacción con GD₁₈ mayores a 1200 C y menor humedad absoluta con mejores heliofanías (ver tabla 1).

Estación	LAT	Long	ASNM	Tmed	Tmáx	Tmín	TDM	TDm	Troc	Tvap	HR	Prec	GD18	GD20	GD22
			m	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%	mm	°C	°C	°C
Azul	36.8	59.8	132	7.7	14.2	2.4	3.2	-2.1	4.7	9.0	84	42	1598	2166	2843
Bolivar	36.3	61.1	93	9.5	15.1	3.8	5.0	-0.7	6.8	10.4	83	41	1284	1765	2337
L.Flores	36.0	59.1	34	9.1	14.9	3.8	4.6	-0.7	5.8	9.7	81	21	1337	1859	2480

Tabla 1. Condiciones climáticas de invierno tomadas como referencia, descriptas por las estaciones meteorológicas cercanas a la localidad de Tapalqué, provincia de Buenos Aires extraídos de la norma IRAM 11.603.

Esto lleva a considerar como hipótesis de trabajo la necesidad de contar con una tecnología de MAC cuya acumulación térmica de base sea sólida acorde a la amplitud térmica mencionada. Pero con una mayor capacidad de acumulación dada por el agua encriptada en vainas plásticas, agilizando así el tiempo de carga, además de mantener un retardo por medio de una descarga acorde a las características de los materiales sólidos. De esta manera se busca simplificar el uso del sistema a partir de mejorar los rendimientos de carga y capacidad sin tener necesidad de controlar la descarga como en el caso de los muros de agua. A los efectos de ensayar y comparar comportamientos, se trabajó teóricamente con tres tipos de muros acumuladores MAC, uno de ellos tradicional, resuelto totalmente en hormigón, y los otros dos son de materializaciones mixtas resueltos en hormigón con insertos de agua en diferentes proporciones y localizaciones, envainada en tubos de PVC. La figura 5 muestra los cortes de las piezas de los modelos de MAC simulados en la vivienda.

Se realizaron simulaciones en la vivienda a los efectos de comparar ambas tecnologías y posteriormente se seleccionaron los más eficaces para luego realizar ensayos de los mismos en laboratorio a cielo abierto. Las simulaciones se realizaron en SIMEDIF conjuntamente con el INENCO³. En primera instancia se simuló un periodo de 25 días de invierno, considerando temperaturas exteriores media, máxima y mínima de 7,7°C, 14,2°C y 2,4°C respectivamente y radiaciones que oscilaron entre 5,4 MJ/m²día y 10,5MJ/m²día (Grossi Gallegos y Righini, 2007). También se simularon períodos de 12 días con datos reales medidos para el mes de junio. Para las simulaciones se consideraron en todos los casos las mismas condiciones constructivas de la vivienda prototipo: envolvente exterior totalmente expuesta a la radiación solar (sin sombreado), coeficientes convectivos de 10 W/m²°C (exteriores) y 6 (u 8) W/m²°C (interiores), 2,5cm de aislación en paramentos verticales y piso, coeficiente de conducción para techos de k/x de 0,32W/m²°C (alrededor de 10cm de aislación), y absorptancia de 0,95 para los MAC. En estos se consideraron variantes con simple vidrio y doble vidrio en la cara norte. En todos los casos la masa de acumulación de los MAC está constituida por piezas industrializadas apilables formando módulos de 1,20 m de ancho por 2,40m de altura.

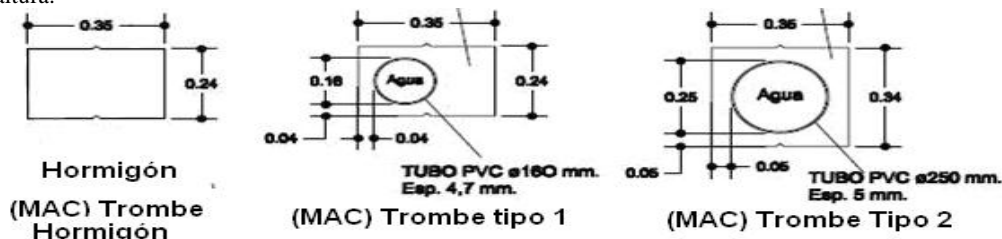


Figura 5. Corte de las piezas que constituyen los tres tipos de MAC.

Los resultados obtenidos de las simulaciones verifican el comportamiento de los diferentes tipos de MAC, entregando calor en el caso de un dormitorio. Se observa que los niveles de temperatura mayores se logran con los MAC mixtos de simple vidrio.

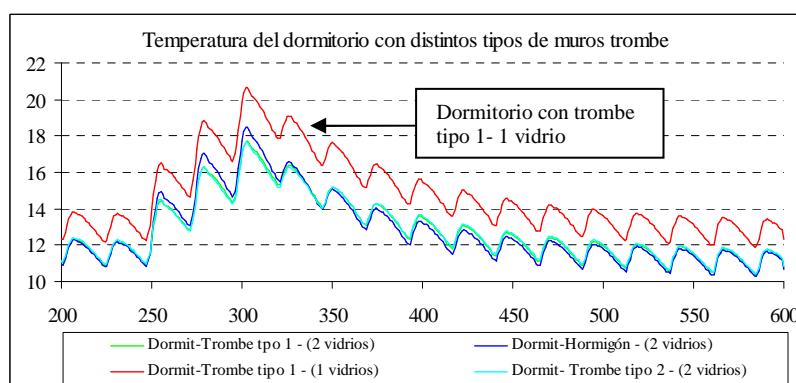


Figura 6: Comparación de las temperaturas del dormitorio con distintos tipos de MAC.

A partir de las simulaciones preliminares se decidió optar en primera instancia por la construcción y ensayo de las piezas tradicionales sólidas de hormigón y las piezas mixtas tipo 1 (hormigón con agua encriptada en vainas de PVC localizada en forma excéntrica) a los efectos de compara ambas tecnologías y verificar a través de ensayos en laboratorio las alternativas constructivas, de materialidad así como sus prestaciones térmicas.

³ Informe: Análisis de muros de acumulación de calor mediante simulación térmica, para una vivienda en Tapalqué, Provincia de Buenos Aires, mediante simulación térmica. Dra. Silvana Flores Larsen y Dr. Alejandro Hernández. INENCO, UNSa. Salta.

DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE LOS MAC SÓLIDOS Y MIXTOS

Entre las alternativas disponibles para la construcción de la masa de acumulación de los MAC se consideró la industrializada a los efectos de resolver en serie un sistema que pudiera ser replicado en el marco del programa de viviendas sociales propuesto por el IVBA. En este contexto se diseñó el utillaje para la construcción de piezas que permitiera asegurar y mantener pautas de dimensionalidad, uniformidad y sencillez de montaje. Dicho proceso también debería asegurar una sencilla manufactura tanto de los moldes, como en la construcción misma de las piezas así como su montaje final. En este caso los moldes se realizaron en chapa plegada, pero también pueden resolverse con encofrados de madera. Las dimensiones de los MAC respetan la modulación de las viviendas y la demanda energética base de las mismas (San Juan et al 2010). A partir de dichos condicionantes, se dimensionaron MAC de 1,20 m de ancho por 2,40 m de altura. La figura 7 muestra el molde, las piezas coladas y su posterior montaje (**Muro climatizador Acumulador de Calor Mixto con vainas líquidas estancas**. IMPI 20110100010, Oficina de patentes de CONICET).

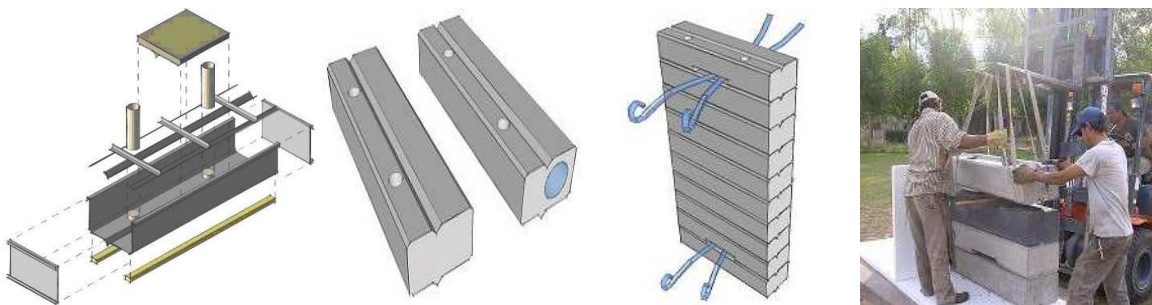


Figura 7: Molde, piezas macizas y mixtas tipo 1, y montaje de la masa de acumulación del MAC.



Figura 8: Colocación de termocúplas Cu-K en las piezas de acumulación de los MAC.

Las piezas configuran una vez montadas muros acumuladores con una capacidad de carga nominal de $281 \text{ kJ/h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ para las piezas sólidas de hormigón (770 kg/m^3 de masa nominal), y de $334,3 \text{ kJ/h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ para las piezas mixtas tipo 1 (80 kg de agua y 594 kg de H° por m^3). Esta última, presenta el inserto de agua desplazado a los efectos de aproximar la mayor capacidad de acumulación sobre la cara norte de la pieza aumentando los niveles de temperatura, dejando en su parte posterior el hormigón macizo con el objeto de mantener el desfase de la onda térmica entre el ciclo diurno y nocturno (según simulaciones entre 4 y 6 hs de desfase para la pieza tipo 1). En ambos casos se observan dos perforaciones destinadas a vincular con hormigón las piezas del muro y unificar durante el montaje la masa de acumulación con la viga de fundación, evitando riesgos de estabilidad. La unión entre piezas se realiza con ligantes comerciales estándares. En cuanto a la materialidad, se trabajó con hormigón H30 con piedra 6,20 natural y hormigón pigmentado de color negro (nombre comercial *Meramoe*, con una proporción del 3% de carbón negro de humo amorfo, exento de materiales extraños (Composición: negro de humo - 100%, **Nº CAS:** 1333-86-4). Esta carga de pigmentación se realizó en algunas de las piezas a sugerencia del Ing. Bernardo Zaslasky de la empresa Bloky en donde se confeccionaron la totalidad de las piezas. De esta manera se pueden diferenciar piezas de hormigón y piezas tipo 1 con y sin pigmentación respectivamente (cuatro en total). Los tiempos de fraguado fueron de un día y medio por componente. Durante las coladas correspondientes se insertaron termocúplas de Cu-K en el interior de las piezas de hormigón y en las vainas de agua, y se completaron posteriormente instalando sensores en las caras norte y sur de las piezas correspondientes. Se cubrió la sección transversal en el punto medio de las piezas, y en los puntos extremos sólo a nivel superficial. La figura 8 ilustra las piezas de ambos tipos con la instalación de sensores insertos en las vainas de agua, en el hormigón y en las superficies norte y sur según corresponda. También se observan las piezas de hormigón natural y de hormigón pigmentado, con el cableado de las termocúplas internas. Completadas las coladas correspondientes a 5 piezas de cada tipo se construyeron dos box de ensayo respetando el módulo de 1,20 m por MAC.

La figura 9 ilustra el montaje de los dos recintos estancos (denominados BOX) con la instalación completa de los MAC y los sensores destinados a medir las temperaturas en las cuatro variantes. Las piezas se montaron sobre una plataforma de hormigón y se quebró el puente térmico con tacos de madera dura y aislamiento (5 cm de poliestireno expandido de 22 kg/m^3). En ambos casos se pintó la superficie norte con esmalte sintético negro mate.



Figura 9: Montaje de los BOX con la instalación completa de los MAC y sensores.

ENSAYOS PRELIMINARES DE LOS MAC SÓLIDOS Y MIXTOS

Para los ensayos se instaló un adquisidor de datos Omega om-cp, de 8 canales con termocuplas tipo T, apoyado por micro-adquisidores de datos tipo Hobo de 4 canales, completando un total de 24 canales; y un piranómetro Eppley tipo PSP para medir la radiación solar sobre el plano de colección de los MAC (vertical a 90°). Las primeras mediciones se realizaron en simultáneo con ambas tecnologías durante el mes de junio y julio del 2011. Se analizarán las temperaturas del aire interior de cada recinto y las temperaturas alcanzadas en los diferentes puntos de cada sección de las piezas de acumulación del MAC. La figura 10 ilustra como ejemplo las temperaturas interiores alcanzadas en los recintos de cada BOX por ambas tecnologías (hormigón sólo y hormigón +agua), para un ciclo de 7 días corridos con diferentes tipos de heliofanía y radiación solar.

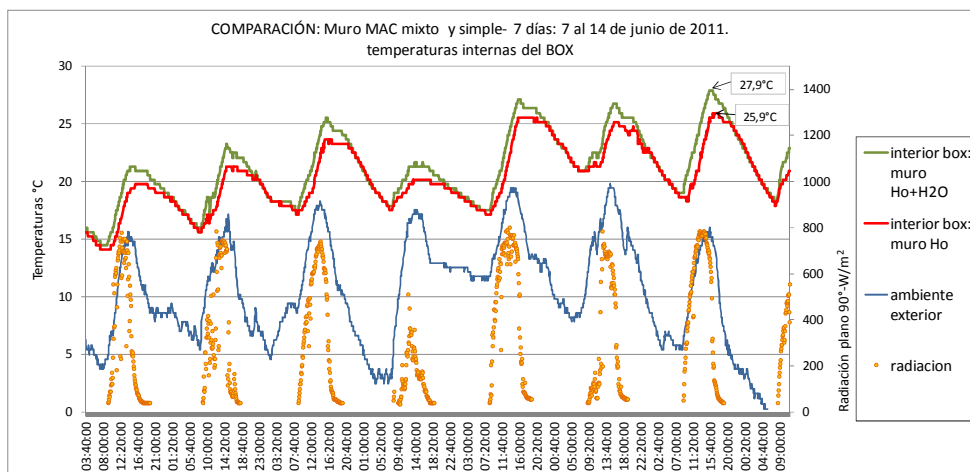


Figura 10: Temperaturas interiores alcanzadas en los recintos de cada BOX para ambas tecnologías (hormigón sólo y hormigón +agua), del 7 al 14 de junio de 2011.

La temperatura interior del BOX con piezas de hormigón+agua durante todo el ciclo medido, presenta diferencias que oscilan entre 2°C en la situación más favorable (T° máxima: $27,9^\circ\text{C}$ en Ho+agua, contra $25,9^\circ\text{C}$ en hormigón), y $1,2^\circ\text{C}$ en las situaciones más desfavorables (T° mínima: $19,4^\circ\text{C}$ en Ho+agua contra $18,3^\circ\text{C}$ en hormigón). Las diferencias se observan durante el período de carga, mientras que las temperaturas se equilibran durante el resto de cada ciclo (descarga). En consecuencia la masa de ambos MAC durante el período de descarga, equiparan sus capacidades tanto de acumulación como de transferencia. Se debe tener en cuenta que en este ensayo no se cuenta con masa en la envolvente y en los pisos de cada recinto (box), en consecuencia las temperaturas del aire interior durante el ciclo podrían modificar tanto en las pendientes como en las diferencias entre curvas durante el período nocturno, situación que se observa en las simulaciones de la figura 6.

Para comparar específicamente el comportamiento de las masas de acumulación de cada MAC se analizan los resultados de un ciclo diario para un día bueno de junio (Heliofanía relativa mayor al 70%). La figura 11 muestra las temperaturas alcanzadas en la cara norte de las piezas de hormigón y hormigón+agua (tipo 1) sin pigmentar. También se reitera la temperatura interior de los BOX, la temperatura exterior y la radiación vertical perpendicular al norte. Y en las figuras 12 y 13 se muestran las temperaturas interiores principales de las piezas de hormigón y hormigón+agua (tipo 1) sin pigmentar.

En la figura 11 se observa una dinámica de carga sobre la superficie norte similar en ambas piezas, con una leve diferencia a favor de la pieza tipo 1 (hormigón+agua), dado que su punto de inicio de carga es anterior y difiere en prácticamente $+1^\circ\text{C}$. Si se observa la cola de descarga de ambas curvas, la tipo 1 cuenta con un mayor nivel térmico durante el período nocturno, evidenciando su mayor potencial de carga. También se observa un proceso de transferencia más temprano en el aire interior del BOX del MAC tipo 1. Esta diferencia entálpica del aire se mantiene sostenida en el tiempo, evidenciando una mayor transferencia durante el ciclo de carga entre la masa de acumulación y el aire interior. Dicha situación infiere un inicio más temprano en los niveles de confort con el sistema mixto (piezas tipo 1). Si se analiza la zona de pico, se observa una situación inversa a la anterior, logrando una diferencia de aproximadamente $1,5^\circ\text{C}$ a favor de las piezas del MAC de hormigón. Por tratarse de la cara norte, y a partir de las temperaturas observadas (superficiales y de aire interior), se podría inferir que la diferencia entálpica ganada en el aire del MAC tipo1 es resultante de una transferencia de calor más intensa, en la que interviene la masa de agua con mayor calor específico próxima a dicha cara (ver figura 11, curva: (2) $\text{H}^+\text{H}_2\text{O}$ -vaina N). Al

no registrarse gradientes térmicos superficiales definidos en la cara norte (MAC tipo 1), se infiere que se establece un equilibrio entre el proceso de disipación y la temperatura superficial, intensificando la convección/radiación y manteniendo simultáneamente la temperatura de superficie en el marco de un gradiente de carga estable. Este proceso se vería justificado por la carencia de mayores gradientes en la cara norte y por la diferencia entálpica del aire interior del MAC tipo 1.

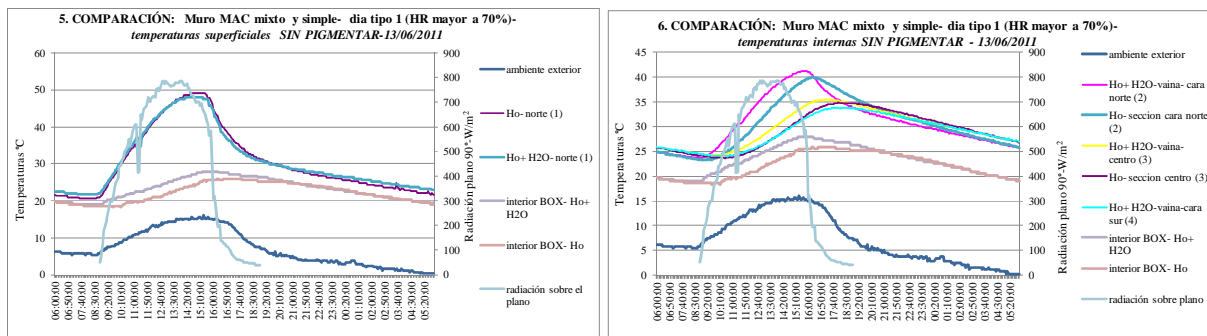
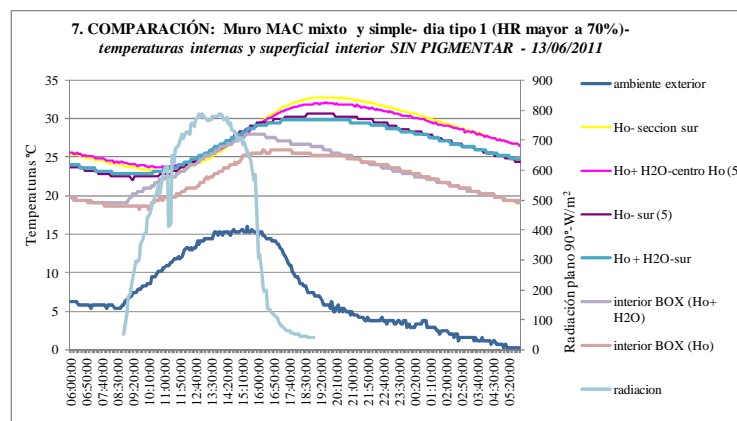


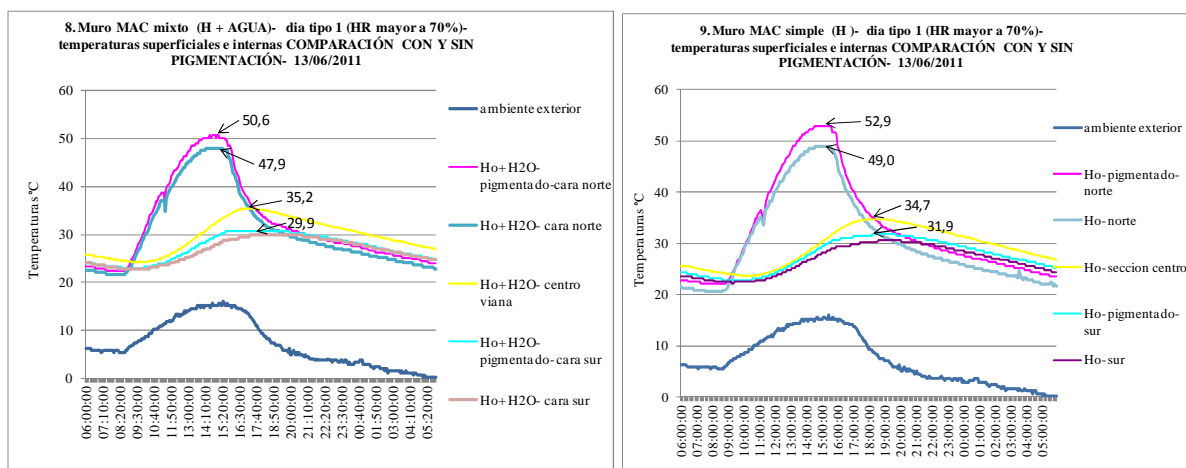
Figura 11 (izquierda): Temperaturas de la superficie norte en piezas de hormigón y de hormigón+agua (tipo 1) sin pigmentar. Figura 12 (derecha): Temperaturas interiores de las piezas de hormigón y de hormigón+agua (tipo 1) sin pigmentar. Día 13 de junio de 2011.

En la figura 12 se observan las temperaturas interiores de las piezas, registradas por los tres sensores instalados en la vaina de agua (curva (2) $\text{H}^0 + \text{H}_2\text{O}$ -vaina N; curva (3) $\text{H}^0 + \text{H}_2\text{O}$ -vaina Interior; y curva (4) $\text{H}^0 + \text{H}_2\text{O}$ -vaina S); y dos de los sensores centrales instalados en la pieza de hormigón sólida (curva (2) H^0 -sección N y curva (3) H^0 -sección centro). En la misma gráfica se reiteran las temperaturas interiores de cada BOX, la ambiente y la radiación. En esta figura se aprecia la diferencia térmica en las diferentes secciones de cada pieza, advirtiendo el adelantamiento del gradiente térmico en la vaina de agua próxima a la cara norte en consonancia con el aumento de temperatura del aire interior. En la sección media de las piezas también se observa una diferencia térmica menor en función del avance de la onda de calor hacia el interior. Terminado el período de carga, se observa una inversión en los comportamientos, justificado en las diferentes dinámicas de transferencia entre la acumulación líquida y la sólida. En el caso de los sólidos existe un mayor retardo dado por la inercia térmica de los mismos, minimizando el gradiente térmico entre los puntos de cada sección. Esto se verifica en la etapa intermedia de descarga. Si observamos las colas, en la etapa final de descarga en ambos casos se verifica el comienzo de una nueva inversión entre las curvas advirtiendo nuevamente el inicio de un mayor gradiente térmico en la sección posterior de la acumulación del MAC tipo 1. Esta diferencia se observa con mayor precisión en las curvas de la figura 13 (curva (5) H^0 -S y curva (6) $\text{H}^0 + \text{H}_2\text{O}$ -S) que registran las temperaturas de la cara sur. Si se observan las colas durante la descarga y previo a la iniciación de un nuevo ciclo de carga, se aprecia que se invierten verificando una mayor carga térmica en el MAC tipo 1.



Figuras 13: Temperaturas de la cara Sur e interiores en piezas de hormigón y hormigón+agua (tipo 1) sin pigmentar.

Para finalizar la evaluación preliminar, mostraremos algunos de los resultados obtenidos con las piezas pigmentadas con negro de humo en el conjunto de su masa. Las figuras 14 y 15 muestran para el mismo día analizado los gradientes térmicos comparados para cada tecnología (hormigón y hormigón+agua (tipo 1) con y sin pigmentación, de las caras Norte y Sur a los efectos de determinar las temperaturas durante la carga y la descarga de cada pieza.



Figuras 14 y 15: Comparación de las piezas de los dos tipos, con y sin pigmentación en negro de humo.

Si analizamos por ejemplo los picos térmicos en ambas caras y en ambas tecnologías, así como en el resto del ciclo de carga y descarga, se observa que en las piezas pigmentadas de ambas tecnologías existe un mayor gradiente de temperatura y en consecuencia una mayor capacidad de carga. La diferencia térmica en las caras Norte oscila entre 3°C y 5°C en ambos picos, transfiriendo la onda térmica sobre la cara Sur con valores que difieren entre 1,5°C y 2°C, con un retardo de prácticamente 4 h. La incorporación de pigmentos mejoró sustantivamente la carga térmica y la transferencia en la masa de acumulación. Se infiere un comportamiento combinado entre transferencia radiativa superficial y conductiva-radiativa interna a nivel intersticial en el interior de la masa sólida pigmentada (negro de humo). Si bien no se cuenta aún con las propiedades físico-químicas precisas del material incorporado como pigmento en la mezcla, y se desconocen sus beneficios térmicos en el caso de ser aplicados en hormigones, la bibliografía consultada describe mejoras en diferentes propiedades de los materiales donde es aplicado, entre ellas las térmicas. Los ejemplos en general provienen de la industria del caucho y eléctrica, asignándole buenas propiedades en cuanto a la transferencia de calor (<http://www.ecured.cu/index.php/Carbano>, 14/7/2011) y (<http://www.uam.es/docencia/elementos/spV21/sinmarcos/elementos/c.html>, 14/7/2011). También se realizaron consultas a referentes que trabajan con conductores y materiales cerámicos (Dr. Scian CETMIT La Plata), advirtiendo que dicho agregado puede mejorar las propiedades conductivas-radiativas, fundamentalmente en altas temperaturas. La experiencia se ha realizado en materiales áridos (semiconductores), en donde la porción conductiva se minimiza con respecto a la radiativa, dado que el efecto está influenciado por la temperatura (T^4), asignándole en consecuencia preponderancia al proceso radiativo.

En nuestro caso, si bien se está trabajando con temperaturas bajas (entre 0°C y 60°C), se podría inferir como hipótesis que el proceso de transferencia mixto (conductivo-radiativo) sería un proceso válido, pero de menor intensidad. No se registran antecedentes en los casos de baja temperatura debiendo plantearse esta situación por el momento como hipótesis probable, respaldada por los datos empíricos obtenidos. En principio el calor se transferiría en el medio sólido (o sea elemento a elemento) de manera conductiva por contacto físico y de manera radiativa por medio de emisiones mínimas entre microcuerpos negros en estado sólido muy próximos (elementos cristalinos pigmentados) distribuidos en toda la mezcla. Si bien no se asegura una mezcla homogénea, la pigmentación y su nivel de concentración mejorarían las condiciones de transferencia y el avance de la onda térmica. El balance convectivo versus el radiativo, se modificaría en función de los elementos encontrados por ambos frentes de onda. En consecuencia, si aseguramos en la mezcla una mejor homogeneidad y distribución del pigmento, se aseguraría un balance conductivo-radiativo estable, mejorando en consecuencia el proceso de transferencia mixto.

A partir de los ensayos preliminares, se pueden delinear diferentes alternativas de análisis y dar continuidad a la investigación de las tecnologías descriptas. Los resultados empíricos confirman diferencias en el comportamiento de ambos sistemas MAC, lo que nos permite continuar con las mediciones y evaluaciones relacionadas con la carga térmica total para diferentes heliofanías y temperaturas; establecer eficiencias del sistema; y niveles de retardo de la onda térmica. Si bien las resultantes muestran diferencias reducidas en la dinámica de carga y en la capacidad térmica entre las piezas de ambas tecnologías (hormigón y hormigón+agua) sin pigmentar; se muestran ventajas operativas en la transferencia entre la masa de acumulación y el aire interior, la onda térmica en las secciones interiores y en la capacidad de carga final, teniendo en cuenta los condicionantes climáticos descriptos en el punto introductorio. En el caso de las piezas pigmentadas, se mejoran en ambos casos las prestaciones. En consecuencia se pueden comenzar a plantear alternativas de análisis que trabajen sobre las variables en juego: relación Hormigón y agua, agilidad de carga y transferencia, inercia térmica y retardos, relación de pigmentación en las mezclas, y velocidad de flujos convectivos, entre otras.

CONCLUSIONES

En función de los requerimientos de las viviendas bioclimáticas de Tapalqué, y a partir de las características climáticas, se plantearon opciones tecnológicas para la climatización de invierno. A partir de dichas características se consideró como hipótesis de trabajo contar con una tecnología de MAC mixta (hormigón+agua). Esto es contar con una mayor capacidad de acumulación, agilizar el tiempo de carga, mantener un retardo por medio de una descarga acorde a las características de los materiales sólidos y mejorar la habitabilidad. Las mismas fueron comparadas con las tecnologías tradicionales (muros sólidos). Entre las conclusiones preliminares podemos mencionar:

Los resultados empíricos confirman diferencias en el comportamiento de ambos sistemas MAC. Si bien las temperaturas registran niveles algo reducidos en la dinámica de carga y descarga de las cara norte y sur entre las piezas de ambas tecnologías (hormigón y hormigón-agua), se muestran ventajas operativas en la transferencia entre la masa de acumulación y el aire interior, en la onda térmica en las secciones interiores y en la capacidad de carga final. En las piezas pigmentadas, se mejoran en ambos casos las prestaciones. En un primer análisis, se han podido verificar los preceptos tenidos en cuenta en las hipótesis iniciales (mayor carga de acumulación y agilidad en la transferencia durante el período diurno). Esto se verifica en los registros térmicos correspondientes y en las temperaturas interiores alcanzadas en ambos BOXES. Esto evidencia cierta sensibilidad a las hipótesis de trabajo propuestas debiendo continuar con el análisis a los efectos de ajustar resultados y trabajar sobre la relación de masas (agua y hormigón) con el objeto de optimizar las prestaciones.

En cuanto a los aspectos constructivos, la industrialización de las piezas de acumulación aseguró la dimensionalidad, la uniformidad y sencillez de montaje, permitiendo asegurar una buena replicabilidad en obra en el marco del programa de viviendas sociales propuesto por el IVBA.

A partir de los ensayos preliminares, se pueden delinear nuevas alternativas de análisis y dar continuidad a la investigación de las tecnologías descriptas.

REFERENCIAS

- Alanis, Saravia, Lesino (1978). *"Material de alto calor específico para muro trombe-michel"*. Actas de 4ta. Reunión de trabajo de ASADES, La Plata. Pp 241-248.
- Alanis, Saravia, Lesino (1978). *"Propiedades térmicas y ensayo de materiales para acumulación"*. Actas de 5ta. Reunión de trabajo de ASADES, Córdoba. Pp 67-99.
- Grossi Gallegos y Righini (2007). *"Atlas de energía solar de la República Argentina"*
- IAS-FIPE y el IIPAC (2009). La casa solar de La Plata. La Plata, Octubre de 2009.
- Mercado, M. V.; Esteves, A. (2004) Arquitectura Sustentable: estudio térmico y técnico económico de la incorporación de aislación térmica. Energías Renovables y Medio Ambiente, Salta, v. 15, p. 45-52.
- Norma IRAM N° 11601 (2002). *"Aislamiento térmico de edificios. Método de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario"*.
- Norma IRAM N° 11603 (1996). *"Clasificación bioambiental de la república Argentina"*.
- Norma IRAM N° (1996). *"Condiciones de habitabilidad de edificios. Valores de "K" en cerramientos opacos"*.
- Guerrero, Rosenfeld, Ravella, Cueto (1979). *"Muro colector acumulador para el programa CESAD"*. Actas de 5ta. Reunión de trabajo de ASADES, Córdoba. Pp. 491-499.
- Guerrero, Discoli, Rosenfeld, Ravella, Ferreyro (1984), *"Prototipo experimental de La Plata: Primera campaña de ensayos de habitabilidad y comportamiento energético"*. Actas de 9na. Reunión de trabajo de ASADES, San Juan. Pp 113,120.
- San Juan, Czajkowski, Rosenfeld, Ferreyro, Gomez, Discoli (2007). *"Viviendas bioclimáticas de interés social"*. En libro: *"Arquitectura Bioclimática"*. 181 pág. Editor: Beatriz Garzón. Editorial Nobuko. ISBN: 978-987-584-096-6.
- Discoli, Rosenfeld (1986). *"Muro colector acumulador en agua: módulos industrializables de bajo costo"*. Actas 11ª Reunión de Trabajo de ASADES, San Luis, pp. 77-84.
- Discoli, Guerrero, Rosenfeld, Ravella (1985). *"Muro colector acumulador en agua: su comportamiento en la zona templada-húmeda"*. Actas 10ª Reunión de Trabajo de ASADES, Neuquén, pp. 15-22..
- Urriol, Gaspar (1980). *"Sistema de ensayo comparativo de muros colectores-acumuladores y simulación de un muro Homogéneo"*. Actas de 6ta. Reunión de trabajo de ASADES, Catamarca. Pp 247-272.
- (<http://www.ecured.cu/index.php/Carbono,14/7/2011>). y
- (<http://www.uam.es/docencia/elementos/spV21/sinmarcos/elementos/c.html,14/7/2011>).

ABSTRACT:

This work exposes the development of a heating air system, conformed by storage heat walls (MAC) and a compared analysis of different technologies. The systems were designed to heating bio-climatic houses, located in Tapalqué, province of Buenos Aires (36° 21' south latitude, 60° 61' west longitude). The systems are included in north facade of the house and are conformed by a storage mass composed by industrialized stackable pieces built by two concrete technologies, massive and mixed pieces that include PVC sheath filled with treated water. They are covered with a single glass window with nocturnal protection. Technological designs, industrialization, manufacture and assembly stages are presented. Simulations of the systems incorporated to the house and measurements in laboratory, were realized. Simulations noticed displayed a greater performance in the simulated spaces with mixed storage walls. The testing bank measurements corroborated these assumptions and detailed thermal difference of 2°C in the registered temperatures inside the locals.

Password: Solar energy, Technology, Transference, Heat storage walls.